



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 44 38 407 A 1

⑤1 Int. Cl.°:  
H 01 J 63/00  
G 01 N 37/00

②1 Aktenzeichen: P 44 38 407.8  
②2 Anmeldetag: 27. 10. 94  
②3 Offenlegungstag: 2. 5. 98

DE 44 38 407 A 1

⑦1 Anmelder:

Ulrich, Andreas, Dr.rer.nat., 80993 München, DE;  
Wieser, Jochen, Dr.rer.nat., 81247 München, DE;  
Krötz, Werner, Dr.rer.nat., 81371 München, DE

⑦4 Vertreter:

Hoffmann, Eitle & Partner Patent- und  
Rechtsanwälte, 81925 München

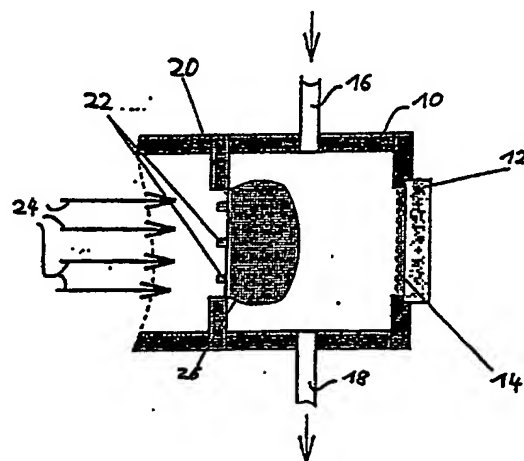
⑦2 Erfinder:

gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Lichtquelle

- ⑤7 Eine Lichtquelle umfaßt einen Emissionsraum (10), der zumindest teilweise lichtdurchlässig ist sowie eine Elektronenquelle. Der Emissionsraum (10) weist einen Bereich auf, der mit einer auf Siliziumbasis hergestellten dünnen Folie (20) verschlossen ist. Hierbei ist die Elektronenquelle derart angeordnet, daß die erzeugten Elektronen (24) durch die Folie (20) in den Emissionsraum (10) eintreten können.



DE 44 38 407 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 03. 98 602 018/259

7/28

BEST AVAILABLE COPY

DE 44 38 407 A1

1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Lichtquelle, insbesondere für Anwendungen im vakuumultravioletten Spektralbereich.

Im vakuumultravioletten Spektralbereich benötigt man für Laboranwendungen, wie beispielsweise zur Kalibrierung der Empfindlichkeit von Detektoren, sowie zur Messung der Transmission bzw. Reflexion von Materialien, geeignete Lichtquellen. Hierbei sind für diesen Spektralbereich bislang kommerziell praktisch nur Deuteriumbogenlampen erhältlich.

Die Lichtintensität der Kontinuumsstrahlung derartiger Deuteriumlampen fällt jedoch zu kurzen Wellenlängen hin stark ab, wobei die Strahlung von schmalbandiger Linienstrahlung überlagert wird. Eine derartige Linienstrahlung wirkt sich jedoch bei Kalibrier- und Transmissionsmessungen aufgrund des dadurch erforderlichen hohen dynamischen Bereiches der Detektorempfindlichkeit sehr störend aus. Zudem brennen Lichtbogen nie ausreichend stabil und führen durch die großen in der Lampe umgesetzten Leistungen zu Alterungseffekten in diesen Lichtquellen.

Es ist deshalb das der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Problem (Aufgabe), eine Lichtquelle zu schaffen, mit der eine breitbandige Lichtemission erzeugt werden kann, die auch bei kurzen Wellenlängen noch eine hohe Lichtintensität liefert.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Merkmale des Patentanspruchs 1.

Erfindungsgemäß weist die Lichtquelle ein gasgefülltes Gefäß auf, im folgenden Emissionsraum genannt, in dem Licht durch Elektronenstoßanregung erzeugt wird. Der Emissionsraum besitzt einen Bereich, der mit einer auf Siliziumbasis hergestellten dünnen Folie verschlossen ist. Schließlich umfaßt die Lichtquelle eine Elektronenquelle, die derart angeordnet ist, daß die erzeugten Elektronen durch die Folie in den Emissionsraum eintreten können.

Mit einer derartigen Vorrichtung ist eine Lichtquelle geschaffen, bei der mit Hilfe von niederenergetischen Elektronen eine breitbandige Lichtemission im vakuumultravioletten Spektralbereich (VUV) erzeugt werden kann. Hierbei werden Elektronen mit einer Energie im Bereich von 10 keV—40 keV verwandt, die auf einfache Weise und mit einer zeitlich stabilen Stromstärke erzeugt werden können. Die Lichtemission beruht dabei auf der Excimeremission von Edelgasen, die bei der Abbremsung der Elektronen in dichtem Gas entsteht. Durch die erfindungsgemäß vorgesehene dünne Folie, die auf Siliziumbasis hergestellt ist, kann der Emissionsraum von der Elektronenquelle räumlich getrennt werden, wobei der Energieverlust der Elektronen (10 keV) in der Folie nur ca. 1% der Gesamtenergie der Elektronen beträgt.

Die auftretende Excimeremission tritt bei Elektronenstrahlanregung von Edelgasen auf, die unter einem Druck von 0,2 bar und mehr stehen. Hierbei tritt eine intensive Lichtemission im vakuumultravioletten Spektralbereich (Wellenlänge kleiner 200 nm) durch Emission der Excimerkontinua auf. Bei höheren Drücken, ab ca. 1 bar, wird die Emission vom sogenannten 2. Kontinuum dominiert, bei dem die Lichtausbeute bis zu 40% betragen kann. Bisherige Methoden zur Produktion von Excimeremission, wie Anregung mit hochenergetischen Elektronenstrahlen (vgl. z. B. R. Sauerbrey, F. Emmert, H. Langhoff, "Fluorescence and absorption in electron-beam excited argon" J. Phys. B 17 (1984) 2057—2074),

2

hochenergetischen Schwerionenstrahlen (vgl. z. B. A. Ulrich, H.J. Körner, W. Krötz, G. Ribitzki, "Heavy Ion excitation of rare gas excimers", J. Appl. Phys. 62 (1987) 357ff.) Röntgenstrahlanregung (vgl. z. B. Proceedings XXI International Conference on Phenomena in Ionized Gases, vol. III, Bochum, 19—24 September 1993, hierin besonders: J.M. Pouvesle et al., Energetic High Repetition Rate Flash X-Ray Source: Application to UV-VUV Fluorescence Studies in High Pressure Gases) oder nuclear gepumpte Plasmen (vgl. z. B. M.G. Anuchin, K.F. Grebenkin, V.A. Kryzhanovskii, E.P. Magda, Sov. Tech. Phys. Lett. (USA) 18 (1992) 164) sind nur unter hohem experimentellen Aufwand realisierbar. Andere Methoden, wie stille Entladungen (vgl. z. B. U. Kogelschatz, Silent-discharge driven excimer UV sources and their applications, Appl. Surf. Sci. 54 (1992) 410—423) oder Excimeremission aus einer Düsenentladung (vgl. z. B. P. Dube, T. Eftimiopoulos, M.J. Kiik, B.P. Stoicheff, Supersonic cooling of rare gas excimers excited in dc discharges, Opt. Lett. 16 (1991) 1887ff.) sind aufgrund ihrer zeitlichen und räumlichen Emissionscharakteristik speziell für Kalibrierzwecke ungeeignet.

Bei Excimeren handelt es sich um zweiatomare Moleküle, die nur im angeregten Zustand existieren. Wenn diese wieder zerfallen, ist dies mit Lichtemission verbunden. Als geeignete Gase kommen beispielsweise Edelgase in Frage. Bei einer Mischung von Gasen können Excimerkontinua aller Komponenten auftreten, wobei die Intensität aufgrund von Energietransferprozessen von dem Mischungsverhältnis der Gase abhängt. Durch Zugabe von kleinen Mengen eines schwereren Edelgases kann eine intensive Emission der Kontinua dieser Beimengung erzielt werden. Gerade durch eine Trennung von Elektronenerzeugung und Lichtemission sind beliebige Gasmischungen ohne die Probleme möglich, die eine elektrische Gasentladung in diesem Fall aufweisen würde, wie z. B. veränderte Zündeigenschaften. Bei der hier vorgeschlagenen Elektronenstrahlanregung ist eine stabile Emissionscharakteristik in jedem Fall gewährleistet.

Die mit der erfindungsgemäßen Lichtquelle erzeugte Strahlung stellt eine breitbandige Lichtemission dar, bei der aufgrund der Excimeremissionsbänder auch bei kurzen Wellenlängen noch eine hohe Lichtintensität vorhanden ist.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind durch die Unteransprüche gekennzeichnet.

Nach einer Ausbildung der Erfindung kann die Folie aus Siliziumnitrid, Siliziumkarbid oder Polysilizium hergestellt sein. Eine solche Folie läßt sich mit mikromechanischen Methoden, beispielsweise durch chemical vapor deposition (OVD) und selektives Ätzen oder ähnliches herstellen.

Zwar ist die Herstellung von außerordentlich dünnen Siliziumnitridfilmen grundsätzlich bekannt (vgl. hierzu "Thin film processes", J.L. Vossen and W. Kern, New York, Academic Press, 1978, und hierin insbesondere den Beitrag "Chemical vapor deposition of inorganic thin films" von W. Kern und V.S. Ban). Jedoch wurden derartige Filme bislang ausschließlich im Bereich der Halbleitertechnologie verwendet.

Vorzugsweise kann die Folie eine Dicke von 100 bis 300 nm, insbesondere 200 nm aufweisen. Hierdurch ist der Energieverlust der durchtretenden Elektronen außerordentlich gering.

Nach einer weiteren Ausbildung der Erfindung herrscht in dem Emissionsraum vorzugsweise ein Druck von 2 bar. Durch einen solchen relativ hohen Gasdruck

BEST AVAILABLE COPY

DE 44 38 407 A1

3

4

wird die Lichtausbeute groß, da die Bildungsrate der Excimermoleküle quadratisch mit dem Druck ansteigt.

Nach einer weiteren Ausbildung der Erfindung kann der Emissionsraum zumindest teilweise mit einem Szintillator versehen sein. Hierdurch kann eine Emission bei längeren Wellenlängen außerhalb des VUV-Bereiches erreicht werden, so daß die erfindungsgemäße Lichtquelle auch auf vorteilhafte Weise im sichtbaren Spektralbereich, beispielsweise als herkömmliche Haushaltslampe, eingesetzt werden kann.

Die Energie der erzeugten Elektronen beträgt vorzugsweise 10–40 keV, wobei in der Elektronenquelle vorzugsweise ein Druck von  $10^{-7}$  mbar vorhanden ist. Derartige Spannungen und Drücke zur Erzeugung eines Elektronenstrahls sind heutzutage leicht und sicher beherrschbar.

Als Elektronenquelle können herkömmliche Glühemissionskathoden und auch Feldemissionskathoden verwendet werden.

Nach einer weiteren Ausbildung der Erfindung kann die Folie Stützstrukturen aufweisen, die beispielsweise die Form von Stegen besitzen, so daß in der Folie einzelne Fenster gebildet sind. Hierdurch läßt sich insgesamt ein großer Durchtrittsbereich für die Elektronen erzeugen, ohne daß die Stabilität dieses Folienbereiches leidet. Die gesamte Lichtausgangsleistung wird somit proportional zur Fläche gesteigert. Die erfindungsgemäße Lichtquelle kann vorzugsweise als Eichlampe eingesetzt werden, da die erzeugten Spektralbereiche keine Linienstrahlung aufweisen.

Nachfolgend wird eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung rein beispielhaft unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Lichtquelle gemäß der Erfindung; und

Fig. 2 ein beispielhaftes Spektrum der Lichtquelle von

Fig. 1, wobei Argongas angeregt wurde.

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau der Lichtquelle gemäß der Erfindung. Die Lichtquelle besteht aus einem gasgefüllten Gefäß 10, das ein optisches Fenster 12 aufweist, welches lichtdurchlässig ist. Für Anwendungen der Lichtquelle im vakuumvioletten Spektralbereich ist das Fenstermaterial vorzugsweise Magnesiumfluorid ( $MgF_2$ ), Lithiumfluorid (LiF), oder Quarz. Die Rückseite des optischen Fensters 12 kann gegebenenfalls mit einem Szintillator 14 beschichtet sein. Durch jeweils einen Einlaßstutzen 16 und einen Auslaßstutzen 18 kann der Emissionsraum 10 mit Gas gefüllt werden, welches unter Druck steht.

An dieser Stelle sei bemerkt, daß der Emissionsraum selbstverständlich auch die Form herkömmlicher Leuchtstoffröhren oder Glühlampen o.ä. annehmen kann.

Ein Bereich des Emissionsraumes ist mit einer dünnen Folie 20 verschlossen, die einen Eintritt von Elektronen in das Entladungsgefäß 10 ermöglicht. Hierbei weist die Folie 20, die stark vergrößert dargestellt ist, mehrere Stützstrukturen 22 auf, die zur erhöhten Stabilität beitragen.

Eine nicht dargestellte Elektronenquelle erzeugt Elektronen einer Energie von ca. 10 keV unter einem Vakuum von ca.  $10^{-7}$  mbar.

Hierbei ist die Elektronenquelle derart angeordnet, daß die erzeugten Elektronen, die in Fig. 1 mit Pfeilen 24 angedeutet sind, durch die Folie 20 in den Emissionsraum 10 eintreten können. Hierdurch wird in dem Emis-

sionsraum 10 ein leuchtendes Gasvolumen 26 erzeugt.

Die verwendete Folie 20 ist ca. 300 nm dick und besteht aus Siliziumnitrid. Die in dem dargestellten Ausführungsbeispiel verwendete Folie ist quadratisch und besitzt eine Kantenlänge von 2 mm. Hierbei ist die Folie Bestandteil einer ca.  $5 \times 5$  mm großen Siliziumscheibe. Als Anregungsgas eignen sich die folgenden Edelgase, wobei die entsprechenden Wellenlängenbereiche in nm angegeben sind:

Helium 60–100  
Neon 80–100  
Argon 105–280 (incl. 3. Kontinuum)  
Krypton 125–155  
Xenon 150–190

Durch die Excimerkontinua der genannten Gase wird der Spektralbereich von 120 nm bis 200 nm praktisch vollständig abgedeckt.

Fig. 2 zeigt beispielhaft ein Spektrum von Argon, das bei der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung gemessen wurde, wobei der Gasdruck in dem Entladungsgefäß 1 bar beträgt.

Durch die Verwendung von fluoreszierenden Materialien als Szintillator 14 läßt sich die erzeugte Strahlung in sichtbares Licht umwandeln. Hierbei kann der Emissionsraum beispielsweise wie eine herkömmliche Leuchtstoffröhre ausgebildet sein, die einen mit der dünnen Folie verschlossenen Eintrittsbereich für die Elektronen aufweist.

Die Betriebsbedingungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung können durch die Wahl der Gase, deren Druck, beziehungsweise Mischung, so eingestellt werden, daß über weite Bereiche des Spektrums nur geringe Intensitätsunterschiede der Lichtemission auftreten. Durch die externe Erzeugung des Elektronenstrahls niedriger Leistung können zeitlich sehr stabile Lichtausgangsleistungen erzeugt werden.

Selbstverständlich kann die Lampe durch Pulsen des Elektronenstrahles zeitlich gepulst betrieben werden, wobei die Leistung im Puls entsprechend dem Tastverhältnis im Bereich der technischen Grenzen (spontane Zerstörungsschwelle der Folie) erhöht werden kann.

Auch wenn die beschriebene Ausführungsform nur eine relativ kleine Folienfläche aufweist, können bei höheren benötigten Leistungen wesentlich größere Folienflächen hergestellt werden, wobei das Ausgangsmaterial des Siliziumwafers als Stützstruktur 22 dienen kann.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Spektrum wurde Argongas unter einem Druck von 1 bar mit 10 keV Elektronen unter einer Stromdichte von  $1 \text{ nA/mm}^2$  angeregt. Wie Fig. 2 deutlich zeigt, wird ein sehr breiter spektraler Bereich der Lichtemission erzeugt, wobei bei 128 nm das sog. 2. Excimerkontinuum und bei 155 nm der sog. linke Umkehrpunkt liegt. Oberhalb von 190 nm überlagert sich das sog. 3. Excimerkontinuum mit einer Fluoreszenz der verwendeten Siliziumnitridfolie in der Lichtquelle.

#### Patentansprüche

##### 1. Lichtquelle, mit

- einem gasgefüllten Emissionsraum (10), der zumindest teilweise lichtdurchlässig ist; und
- einer Elektronenquelle; wobei
- der Emissionsraum (10) einen Bereich aufweist, der mit einer auf Siliziumbasis hergestellten dünnen Folie (20) verschlossen ist; und
- die Elektronenquelle derart angeordnet ist,

BEST AVAILABLE COPY

DE 44 38 407 A1

5

6

daß die erzeugten Elektronen (24) durch die Folie (20) in den Emissionsraum (10) eintreten können.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Emissionsraum (10) eine Exci- 5 merstrahlung erzeugt wird.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Folie (20) aus Siliziumnitrid, Siliziumkarbid oder Polysilizium hergestellt ist.
4. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- 10 henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Emissionsraum (10) ein Druck von 0,5 bis 30 bar, vorzugsweise 2 bar vorhanden ist.
5. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- 15 henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Emissionsraum (10) zumindest teilweise mit einem Szintillator (14) versehen ist.
6. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- 20 henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Folie (20) eine Dicke von 100—300 nm, vorzugsweise 200 nm aufweist.
7. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Energie der erzeugten Elektronen (24) 5—40 25 keV, vorzugsweise 20 keV beträgt.
8. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das in dem Emissionsraum (10) befindliche Gas zu- 30 mindest eines aus der Gruppe Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon ist.
9. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Elektronenquelle ein Druck von ca.  $10^{-7}$  mbar 35 vorhanden ist.
10. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromdichte des Elektronenstrahles in der Elek- 40 tronquellen ca. 5 nA/mm<sup>2</sup> beträgt.
11. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronenquelle gepulst betreibbar ist. 45
12. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Folie (20) Stützstrukturen (22) aufweist.
13. Vorrichtung nach zumindest einem der vorste- 45 henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronen durch Feldemission erzeugbar sind.
14. Verwendung einer Vorrichtung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche als Eichlampe 50 oder als herkömmliche Lichtquelle.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

BEST AVAILABLE COPY

**- Leerseite -**

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:  
Int. Cl. 6:  
Offenlegungstag:

DE 44 38 407 A1  
H 01 J 63/00  
2. Mai 1996

